

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**ArF excimer laser device**

Patent Number: ☐ [EP1091462](#)  
Publication date: 2001-04-11  
Inventor(s): KAKIZAKI KOJI (JP)  
Applicant(s): USHIO RES INST OF TECHNOLOGY I (JP)  
Requested Patent: ☐ [JP2001111142](#)  
Application Number: EP20000121785 20001005  
Priority Number(s): JP19990288152 19991008  
IPC Classification: H01S3/225  
EC Classification: [H01S3/225](#)  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

There is provided an ArF excimer laser device for performing an oscillating operation with a repetition rate of more than 3 kHz and an oscillating laser pulse width  $T_{is}$  of more than 30 ns. The laser operation is carried out in a start half-period of an electrical discharge oscillating current waveform of a pulse of reversed polarity generated by a high voltage pulse generating device and in at least two subsequent half-periods. The pressure of the laser gas in the laser chamber is 2.5 to 3.5 atm, the fluorine concentration is 0.12% or less, and the argon gas concentration 3% or less. As a result, the laser pulse

width  $T_{is}$  can be set to more than 30 ns. 

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-111142  
(P2001-111142A)

(43) 公開日 平成13年4月20日 (2001.4.20)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

H 0 1 S 3/036  
3/225

H 0 1 S 3/03  
3/223

J 5 F 0 7 1  
E

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平11-288152

(22) 出願日 平成11年10月8日 (1999.10.8)

(71) 出願人 397060245

株式会社ウシオ総合技術研究所  
静岡県御殿場市駒門1丁目90番地

(72) 発明者 柿崎 弘司

静岡県御殿場市駒門1-90 株式会社ウシ  
オ総合技術研究所

(74) 代理人 100097777

弁理士 荏澤 弘 (外7名)

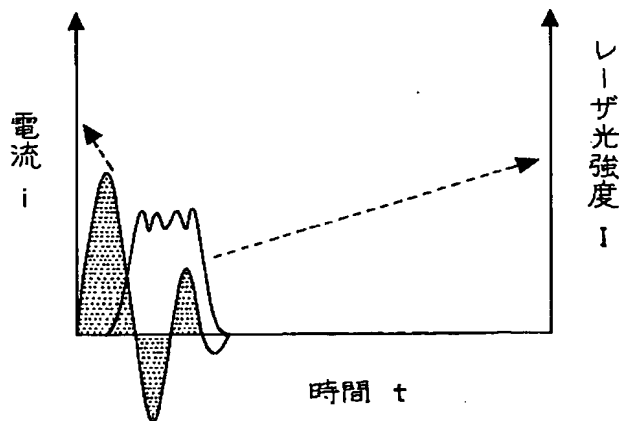
Fターム(参考) 5F071 AA06 DD08 EE04 GG05 HH07  
JJ05

(54) 【発明の名称】 露光用ArFエキシマレーザ装置

(57) 【要約】

【課題】 3kHz以上の高繰返し発振動作のArFエキシマレーザ装置において、発振レーザパルス幅 $T_{is}$ を30ns以上とロングパルス化すること。

【解決手段】 3kHz以上の高繰返し発振動作を行うArFエキシマレーザ装置であって、高電圧パルス発生装置が発生する極性が反転する1パルスの放電振動電流波形の始めの半周期と、それに続く少なくとも1つの半周期によってレーザ発振動作を行わせるように構成された露光用ArFエキシマレーザ装置において、レーザガスのレーザチェンバ内圧力を2.5~3.5気圧、レーザガスのフッ素濃度を0.12%以下、レーザガスのアルゴンガス濃度を3%以下とすることにより、レーザパルス幅 $T_{is}$ を30ns以上とすることが可能である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 フッ素ガス、アルゴンガス及びアルゴンガス以外の少なくとも1種類の希ガスからなるレーザガスが封入されたレーザチェンバと、このレーザチェンバ内で高電圧パルス放電を発生させて前記レーザガスを励起してレーザ光を放出させるための高電圧パルス発生装置とを有し、3kHz以上の高繰返し発振動作を行う露光用ArFエキシマレーザ装置であって、前記高電圧パルス発生装置が発生する極性が反転する1パルスの放電振動電流波形の始めの半周期と、それに続く少なくとも1つの半周期によってレーザ発振動作を行わせるように構成された露光用ArFエキシマレーザ装置において、前記レーザガスのレーザチェンバ内圧力が2.5～3.5気圧、

前記レーザガスのフッ素濃度が0.12%以下、前記レーザガスのアルゴンガス濃度が3%以下であることを特徴とする露光用ArFエキシマレーザ装置。

【請求項2】 前記アルゴンガス濃度が2%以上であることを特徴とする請求項1記載の露光用ArFエキシマレーザ装置。

【請求項3】 前記アルゴンガス以外の希ガスがネオンガス並びにキセノンガスの混合ガスであって、前記キセノンガス濃度が5～15ppmであることを特徴とする請求項1又は2記載の露光用ArFエキシマレーザ装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、露光用ArFエキシマレーザ装置に関し、特に、レーザパルス幅の長いレーザ発振動作を行う露光用ArFエキシマレーザ装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体集積回路の微細化、高集積化につ

$$T_{is} = (\int T(t) dt)^2 / \int (T(t))^2 dt \quad \dots (1)$$

ここで、 $T(t)$ は時間的なレーザ形状である。

【0008】ここで、このレーザパルス幅 $T_{is}$ の定義について説明しておく。光学素子のダメージが2光子吸収により生じると仮定すると、ダメージは、強度の2乗に

$$D = k \cdot \int (P(t))^2 dt \quad \dots (2)$$

ここで、 $k$ は物質により決まる定数、 $P(t)$ は時間的なレーザ強度(MW)である。

【0010】レーザ強度 $P(t)$ は、次式により、時間

$$P(t) = I \cdot T(t) / \int T(t') dt' \quad \dots (3)$$

ここで、 $I$ はエネルギー(mJ)、 $T(t)$ は時間的なレーザ形状である。

【0012】 $P(t)$ を時間的に積分すると $I$ になり、後で述べる露光用ArFエキシマレーザの場合、 $I$ は例

$$\begin{aligned} D &= k \cdot I^2 \cdot \int (T(t) / \int T(t') dt')^2 dt \\ &= k \cdot I^2 \cdot \int (T(t))^2 dt / (\int T(t) dt)^2 \quad \dots (4) \end{aligned}$$

れ、投影露光装置においては解像力の向上が要請されている。このため、露光用光源から放出される露光光の短波長化が進められており、次世代の半導体露光用光源としてArFエキシマレーザ装置が有力である。

【0003】ArFエキシマレーザ装置においては、フッ素( $F_2$ )ガス、アルゴン(Ar)ガス及びバッファガスとしてのネオン(Ne)等の希ガスからなる混合ガスであるレーザガスが数100kPaで封入されたレーザチェンバの内部で放電を発生させることにより、レーザ媒質であるレーザガスが励起される。

【0004】また、ArFエキシマレーザ装置は放出するレーザ光のスペクトル幅が400pm程度と広いので、露光装置の投影光学系における色収差の問題を回避するためには、スペクトル幅を1pm以下に狭帯域化することが必要となる。スペクトル線幅の狭帯域化は、例えばビーム拡大プリズムと回折格子からなる狭帯域化光学系をレーザ共振器内に配置することにより実現される。

【0005】ところで、ArFエキシマレーザ装置は、中心発振波長が193.3nmであり、現在露光用光源として使用されているKrFエキシマレーザ装置の中心発振波長248nmより短い。このため、ステッパー等の露光装置の投影レンズ系に使用されている硝材である石英に与えるダメージがKrFエキシマレーザ装置を使用した場合と比較して大きく、レンズ系の寿命が短くなるという問題がある。

【0006】石英のダメージとしては、2光子吸収によるカラーセンターの形成とコンパクション(屈折率上昇)がある。前者は透過率の減少、後者はレンズ系の分解能の減少として現れる。この影響は、レーザパルスのエネルギーを一定とした場合、次式で定義されるレーザパルス幅 $T_{is}$ に反比例する。

## 【0007】

比例するため、1パルス当たり蓄積されるダメージ $D$ は次式で与えられる。

## 【0009】

$$\dots (2)$$

とエネルギーに分離することができる。

## 【0011】

えば5mJである。

【0013】ここで、(3)式を(2)式に代入すると、ダメージ $D$ は以下の式で表される。

## 【0014】

ここで、(1)式を代入すると、

$$D = k \cdot I^2 / T_{is} \quad \dots (5)$$

となる。この(5)式より、 $k \cdot I^2$  は一定であるため ( $I$  は一定に維持される。)、ダメージ  $D$  に反比例するパルス幅  $T_{is}$  が(1)式により定義される。

【0015】このレーザパルス幅  $T_{is}$  は、実際のパルス幅を反映し、また、パルス幅が同じとき、矩形に近い程  $T_{is}$  は長くなる。

【0016】現在、商品化されている露光用狭帯域化 ArF エキシマレーザ装置は、発振動作の繰返し周波数 (以後、繰返し周波数と記す。) 1 kHz、レーザ光出力が 5 W のものが一般的であり、露光装置に搭載される光学系のダメージを回避するためには、レーザパルス幅

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad \dots (6)$$

$$DOF = k_2 \cdot \lambda / (NA)^2 \quad \dots (7)$$

ここで、 $k_1$ 、 $k_2$  はレジストの特性等を反映する係数、 $\lambda$  は露光用光源から放出される露光光の波長、 $NA$  は開口数である。

【0020】解像度  $R$  を向上させるため、(6)式から明らかなように、露光光の波長の短波長化、高  $NA$  化が進んでいるが、その分、(7)式が示す通り、焦点深度  $DOF$  が小さくなる。そのため、色収差の影響が大きくなるので、露光光のスペクトル線幅をより狭くする必要がある。すなわち、ArF エキシマレーザ装置から放出されるレーザ光のスペクトル線幅のさらなる狭帯化が要請される。

【0021】ここで、Proc. SPIE Vol. 3679. (1999) 1030~1037 には、レーザパルス幅が長くなると、それに伴って、レーザ光のスペクトル線幅が狭くなって行くことが記載されており、実際、本発明者等の実験でもこれは証明された。すなわち、解像度  $R$  を向上させるためには、レーザ光のスペクトル線幅のさらなる狭帯化が要請され、そのためにはレーザパルス幅のロングパルス化が必要となる。

【0022】以上のように、露光装置の光学系へ与えるダメージの回避、及び、解像度の向上のために、レーザパルス幅  $T_{is}$  のロングパルス化が必須となってきた。レーザパルス幅  $T_{is}$  は、レーザチェンバに封入されるレーザガス中のフッ素ガス濃度に依存することが知られており (前出: Proc. SPIE Vol. 3679.

(1999) 1030~1037)、フッ素ガス濃度を調整することにより、レーザパルス幅  $T_{is}$  を  $T_{is} \geq 30$  ns となるようにロングパルス化することが可能となる。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】一方、近年、露光処理の高スループット化のために、次世代の半導体露光用光源として有力視されている ArF エキシマレーザ装置に対し、繰返し周波数の高繰返し化が要請されている。発明者等は、このような要請に対応するために、繰返し周

$T_{is}$  は 30 ns 以上であることが必要とされている。

【0017】上記したように、露光装置に搭載される光学系のダメージを低減するためには、レーザパルス幅  $T_{is}$  を長くすること (ロングパルス化) が求められるが、このロングパルス化は、以下の点からも要請される。

【0018】投影露光装置において、回路パターン等が施されたマスクの像が、投影レンズを介してフォトレジストが塗布されたウエーハ等のワークに投影される投影像の解像度  $R$  と焦点深度  $DOF$  は、次式で表される。

【0019】

波数が 3 kHz 以上で動作可能な露光用 ArF エキシマレーザ装置を開発した。

【0024】そして、レーザパルス幅  $T_{is}$  を  $T_{is} \geq 30$  ns となるように、レーザチェンバに封入されるレーザガス中のフッ素ガス濃度を変化させた。しかしながら、繰返し周波数が 2 kHz を越えない場合は、レーザガス中のフッ素ガス濃度を調整してレーザパルス幅  $T_{is} \geq 30$  ns となるようにロングパルス化を行うことができたが、繰返し周波数が 2 kHz を越えた場合 (例えば、3 kHz) においては、どのようにレーザガス中のフッ素ガス濃度を変化させても、レーザパルス幅  $T_{is} \geq 30$  ns となるようにロングパルス化を行うことはできなかった。

【0025】本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであって、その目的は、繰返し周波数が 3 kHz を越えてもレーザパルス幅が 30 ns 以上となる露光用 ArF エキシマレーザ装置を提供することである。

【0026】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、鋭意研究の結果、レーザチェンバに封入されるレーザガスを構成するガス中、アルゴンガスに着目し、ArF エキシマレーザ装置においては繰返し周波数 3 kHz 以上で動作する場合、レーザパルス幅  $T_{is}$  は、アルゴンガスの濃度に依存することを発見した。

【0027】また、繰返し周波数 2 kHz 以下では、レーザパルス幅  $T_{is}$  は、アルゴンガスの濃度に依存しないことが判明した。

【0028】従来、商品化されている ArF エキシマレーザ装置における繰返し周波数は、1 kHz のものが主流であって、研究段階の ArF エキシマレーザ装置で実現している繰返し周波数も 2 kHz 程度であった。そのため、上記したように、レーザパルス幅  $T_{is}$  に対するアルゴンガスの濃度の依存性がないので、フッ素ガスの濃度を調整していた。

【0029】しかしながら、フッ素ガスの濃度を調整するという従来技術を踏襲するのではなく、本発明者が発明したアルゴンガスの濃度を調整するという新規の技術を採用することにより、繰返し周波数が3kHzを超える場合においてもレーザパルス幅 $T_{is}$ を30ns以上とすることが可能となった。

【0030】すなわち、上記目的を達成する本発明の露光用ArFエキシマレーザ装置は、フッ素ガス、アルゴンガス及びアルゴンガス以外の少なくとも1種類の希ガスからなるレーザガスが封入されたレーザチェンバと、このレーザチェンバ内で高電圧パルス放電を発生させて前記レーザガスを励起してレーザ光を放出させるための高電圧パルス発生装置とを有し、3kHz以上の高繰返し発振動作を行う露光用ArFエキシマレーザ装置であって、前記高電圧パルス発生装置が発生する極性が反転する1パルスの放電振動電流波形の始めの半周期と、それに続く少なくとも1つの半周期によってレーザ発振動作を行わせるように構成された露光用ArFエキシマレーザ装置において、前記レーザガスのレーザチェンバ内圧力が2.5～3.5気圧、前記レーザガスのフッ素濃度が0.12%以下、前記レーザガスのアルゴンガス濃度が3%以下であることを特徴とするものである。

【0031】この場合、アルゴンガス濃度が2%以上であることが望ましい。

【0032】また、アルゴンガス以外の希ガスがネオンガス並びにキセノンガスの混合ガスであって、キセノンガス濃度が5～15ppmであることが望ましい。

【0033】本発明において、レーザガスのレーザチェンバ内圧力を2.5～3.5気圧、レーザガスのフッ素濃度を0.12%以下、レーザガスのアルゴンガス濃度を3%以下に設定することにより、繰返し周波数3kHz以上であっても、レーザパルス幅 $T_{is}$ が30ns以上の露光用ArFエキシマレーザ装置を実現することができる。ここで、アルゴンガス濃度とは、レーザチェンバ内の圧力に対するアルゴンガスの分圧をいう。

【0034】

【発明の実施の形態】以下、本発明の露光用ArFエキシマレーザ装置を実施例に基いて説明する。

【0035】図1は、本発明の露光用ArFエキシマレーザ装置の構成例を示すものである。図中、1はレーザチェンバであり、両端に窓部が設けられ、フッ素ガス、アルゴンガス及びバッファガス（例えば、ネオンガス）からなる混合ガスであるレーザガスが封入されている。

【0036】レーザチェンバ1の内部には、所定間隔だけ離間して対向した一対の放電電極2が設けられ、高電圧パルス発生器3より高電圧パルスを印加して放電電極2間に放電を発生させることにより、レーザ媒質であるレーザガスが励起される。

【0037】レーザチェンバ1内に設置されたファン4

によって、レーザガスはレーザチェンバ1内部を循環する。

【0038】このレーザガス循環により、放電電極2間のレーザガスは、放電発生後次の放電が発生する前に新しいガスに置換されるので、次の放電は安定な放電となる。発明者はレーザチェンバ1のレーザガス循環構造、ファン4の形状等の改良を行い、繰返し周波数3kHz以上を実現した。

【0039】レーザチェンバ1の一方の端部側には、レーザ光のスペクトル幅を狭帯域化するための狭帯域化光学系を有する狭帯域化モジュール5が設けられる。狭帯域化光学系は、例えば、1個以上のプリズムからなるビーム径拡大光学系とリトロ配置の反射型回折格子とから構成される。レーザチェンバ1の他方の端部側には出力鏡6が設けられ、この出力鏡6と狭帯域化モジュール5に設置された狭帯域化光学系によりレーザ共振器が構成される。

【0040】出力鏡6より放出されたArFエキシマレーザ光の一部はビームサンプラー7により取出され、レーザ光の時間的波形を検出する波形検出手段8に導かれる。波形検出手段8は、例えば、フォトダイオードまたは光電子増倍管を光電変換手段として備えている。波形検出手段8で得られた波形データはパルス幅算出手段9に送られる。パルス幅算出手段9は、受け取ったパルス幅データに基いて、前記した式(1)に従って、レーザパルス幅 $T_{is}$ を算出する。

【0041】そして、本発明においては、放電電極間を流れる振動電流の周期を短くし、かつ、電流のピーク値が大きくなるように高電圧パルス発生器3の回路定数を定めることにより、ロングパルス化を図っている。すなわち、図2に波形図を示すように、放電電極間を流れる振動電流の周期を短くし、かつ、電流のピーク値が大きくなるように回路定数を定めることにより、振動電流の最初の1/2周期とそれに続く少なくとも1つ（望ましくは2つ）の1/2周期においても、レーザガスの励起を行わせて、レーザ発振動作を持続させることによりロングパルス化を図っている。

【0042】このような図1のArFエキシマレーザ装置において、繰返し周波数を3kHz、レーザチェンバ1内圧力を3.5気圧（約350kPa）、フッ素濃度を0.09%、バッファガスをネオンとして、レーザチェンバ1内のアルゴンガス濃度に対するレーザパルス幅 $T_{is}$ と1パルス当たりのレーザ出力エネルギーの関係を調べたところ、図3のような結果が得られた。

【0043】図3の結果から明らかなように、繰返し周波数が3kHzで、レーザガスのレーザチェンバ内圧力が3.5気圧の場合に、アルゴンガス濃度が増加していくと、レーザパルス幅 $T_{is}$ が短くなっていく。この理由は、繰返し周波数が3kHz以上に増加すると、Arイオン等の残留生成物の増加、Arの電離による電流集中

の発生により放電の不安定さが増し、パルス励起の後半において均一の放電から放電の空間的な集中が発生して必要な均一な励起が効率良く行われなくなるからである。したがって、30 ns以上のレーザパルス幅 $T_{is}$  ( $T_{is} \geq 30 \text{ ns}$ )を達成するためには、アルゴン濃度を3%以下に設定する必要がある。なお、レーザチェンバ1内圧力はガス温度を25℃に換算したときの値である。

【0044】また、図3の結果から、アルゴンガス濃度が低下していくと、レーザ出力エネルギーの低下が起こる。この理由は、アルゴンガス濃度が低下すると、励起されるエキシマの量が減ってしまうからである。露光用狭帯域化ArFエキシマレーザ装置が放出する光の1パルス当たりのエネルギーは、露光装置の性能、ウエーハに塗布されたレジストの性能から、5 mJ程度が望ましいとされているので、アルゴン濃度が2%より小さくなると、図3の場合、レーザパルス幅 $T_{is}$ は $T_{is} \geq 30 \text{ ns}$ となるが、1パルス当たりのエネルギーは、5 mJを下回ることになる。したがって、レーザチェンバ1内のアルゴンガス濃度は2%以上に設定することが望ましい。なお、図3において、アルゴンガス濃度が3%程度以上に増加していくと、レーザ出力エネルギーは低下し始める。その理由は、上記のように、アルゴンガス濃度が増加していくとレーザパルス幅 $T_{is}$ が短くなってしまうためである。

【0045】図4に、一例として、上記条件でレーザチェンバ1内のアルゴンガス濃度を2.5%としたときの、放電電極2間に流れる放電電流(図(a))と、波形検出手段8で得られた時間的なレーザパルス波形(図(b))とを対比して示す。このとき、パルス幅算出手段9により求められたレーザパルス幅 $T_{is}$ の値は46 nsであった。

【0046】図4の結果から、放電電極2間の放電により流れる振動電流の最初の1/2周期とそれに続く2つの1/2周期によりレーザガスの励起を行い(特に、最初と3番目の1/2周期により励起を行っている)、かつ、アルゴンガス濃度を3%以下の2.5%としたことにより、 $T_{is} \approx 46 \text{ ns}$ とのロングパルス化を達成している。

【0047】図5は、図3の場合と、繰返し周波数、フッ素濃度、バッファガスの条件は変えず、レーザチェンバ1内圧力のみを2.5気圧(約250 kPa)にして、レーザチェンバ1内のアルゴンガス濃度に対するレーザパルス幅 $T_{is}$ と1パルス当たりのレーザ出力エネルギーの関係を調べた結果を示すものである。この条件下においても、アルゴン濃度を3%以下に設定すれば、レーザパルス幅 $T_{is}$ を $T_{is} \geq 30 \text{ ns}$ とすることができることが分った。

【0048】なお、アルゴン濃度を2%~3%に設定する際、レーザチェンバ1内圧力は、2.5~3.5気圧

(約300~400 kPa)程度に設定することが望ましい。その理由は、レーザチェンバ1内圧力が2.5気圧未満では、1パルス当たりのエネルギーを5 mJ以上とすることが困難であり、レーザチェンバ1内圧力が3.5気圧を越えると、放電領域のインピーダンスが増加するため放電を持続することが困難になり、また、長時間安定的に放電励起することが困難になるので、レーザパルス幅 $T_{is}$ を $T_{is} \geq 30 \text{ ns}$ とすることができないためである。

【0049】また、フッ素ガス濃度は、0.12%以下に設定することが望ましい。その理由は、フッ素ガス濃度を0.12%より大きくすると、アルゴン濃度を3%以下に設定しても、フッ素が電子を付着してレーザガス中に電子密度の不均一を起こしやすいので、レーザパルス幅 $T_{is}$ を $T_{is} \geq 30 \text{ ns}$ とすることができないためである。

【0050】また、上記した実施例においては、バッファガスをネオンとした例を示したが、これに限るものではなく、複数種の不活性ガスを混合してもよい。図6は、バッファガスとしてネオンの他に、キセノン(Xe)を10 ppm添加し、繰返し周波数を3 kHz、レーザチェンバ1内圧力を3.5気圧(約350 kPa)、フッ素濃度を0.09%として、レーザチェンバ1内のアルゴンガス濃度に対するレーザパルス幅 $T_{is}$ と1パルス当たりのレーザ出力エネルギーの関係を調べた結果を示すものである。比較のため、図6中には、バッファガスをネオンのみとした図3の結果も併せて示してある。図中、破線で示した特性が図3の結果である。

【0051】キセノンを10 ppm添加したことにより、アルゴンガス濃度に対するレーザパルス幅 $T_{is}$ の関係はほとんど変化しないものの、1パルス当たりのレーザ出力エネルギーは、キセノンを添加しない場合に比べて増大している。このキセノンの添加の作用は、レーザチェンバ1内の放電電極間の放電空間近傍に配置される不図示の予備放電電極からの紫外線による予備電離を促進させるためである。このように、バッファガスにキセノンを添加することにより、1パルス当たりのレーザ出力エネルギーが、露光装置、フォトレジスト等の露光条件から所望とされる5 mJより下回らないためのアルゴン濃度範囲が拡張されることになる。

【0052】ここで、添加するキセノンガスの濃度は5~15 ppmであることが望ましい。その理由は、キセノンガス濃度を5 ppmより小さくすると、1パルス当たりのレーザ出力エネルギーの増大効果はほとんど確認できず、キセノンガス濃度を15 ppmより大きくすると、逆に、1パルス当たりのレーザ出力エネルギーが低下して5 mJを下回ることが、本発明者等の実験により明らかになったためである。

【0053】このように、本発明に基いて、従来のようにレーザチェンバ内のフッ素濃度を調整するという技術

とは全く異なり、アルゴンガス濃度を調整するという新規な技術により、繰返し周波数3kHz以上、レーザパルス幅 $T_{is}$ が30ns以上の高繰返しロングパルス化狭帯域ArFエキシマレーザ装置を実現することに成功した。

【0054】以上、本発明の露光用ArFエキシマレーザ装置を実施例に基いて説明してきたが、本発明は上記実施例に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、必要とされる露光用狭帯域化ArFエキシマレーザ装置が放出する光の1パルス当たりのエネルギーが、露光装置の性能、ウエーハに塗布されたレジストの性能の向上より、5mJを下回った場合には、それに応じてレーザチェンバ内のアルゴンガス濃度の設定範囲を下限の2%より拡張することが可能である。要は、必要とされるレーザパルス幅 $T_{is}$ 、並びに、1パルス当たりのレーザ出力エネルギーに応じて、アルゴンガス濃度を設定すればよい。

#### 【0055】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の露光用ArFエキシマレーザ装置によれば、レーザガスのレーザチェンバ内圧力を2.5～3.5気圧、レーザガスのフッ素濃度を0.12%以下、レーザガスのアルゴンガス濃度を3%以下に設定することにより、繰返し周波数3kHz以上であっても、レーザパルス幅 $T_{is}$ が30ns以上の露光用ArFエキシマレーザ装置を実現することができる。

【0056】また、アルゴンガス濃度を2%以上とすると、1パルス当たりのエネルギーを、露光装置の性能、ウエーハに塗布されたレジストの性能から望ましいとされている5mJを下回らないようにすることができる。

【0057】さらに、アルゴンガス以外の希ガスをネオンガス並びにキセノンガスの混合ガスとし、キセノンガス濃度を5～15ppmとすれば、1パルス当たりのレ

ーザ出力エネルギーが5mJより下回らないアルゴン濃度範囲を拡張することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の露光用ArFエキシマレーザ装置の構成例を示す図である。

【図2】本発明の露光用ArFエキシマレーザ装置の振動放電電流とレーザ発振動作の関係を模式的に示す図である。

【図3】レーザチェンバ内圧力が3.5気圧のときの、レーザチェンバ内のアルゴンガス濃度に対するレーザパルス幅と1パルス当たりのレーザ出力エネルギーの関係を調べた結果を示す図である。

【図4】本発明に基く一例の放電電極間に流れる放電電流と波形検出手段で得られた時間的なレーザパルス波形とを対比して示す図である。

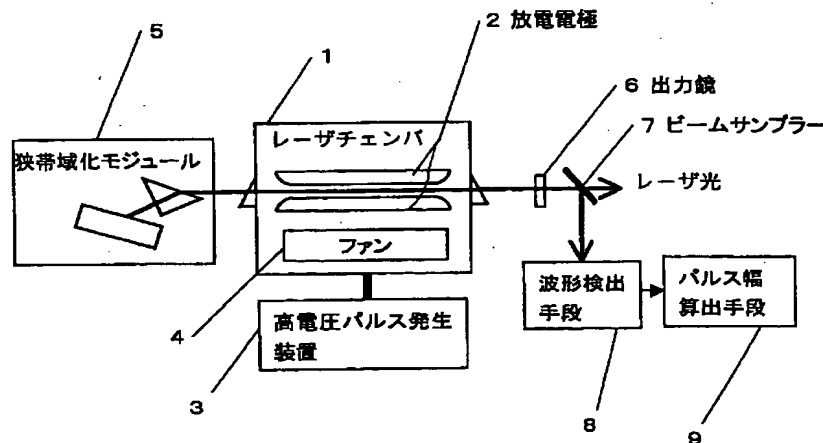
【図5】レーザチェンバ内圧力が2.5気圧のときの、レーザチェンバ内のアルゴンガス濃度に対するレーザパルス幅と1パルス当たりのレーザ出力エネルギーの関係を調べた結果を示す図である。

【図6】レーザチェンバ内にキセノンガスを添加した場合のアルゴンガス濃度に対するレーザパルス幅と1パルス当たりのレーザ出力エネルギーの関係を調べた結果を示す図である。

#### 【符号の説明】

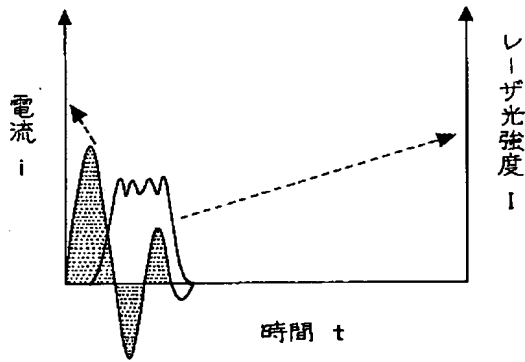
- 1…レーザチェンバ
- 2…放電電極
- 3…高電圧パルス発生器
- 4…ファン
- 5…狭帯域化モジュール
- 6…出力鏡
- 7…ビームサンプラー
- 8…波形検出手段
- 9…パルス幅算出手段

【図1】

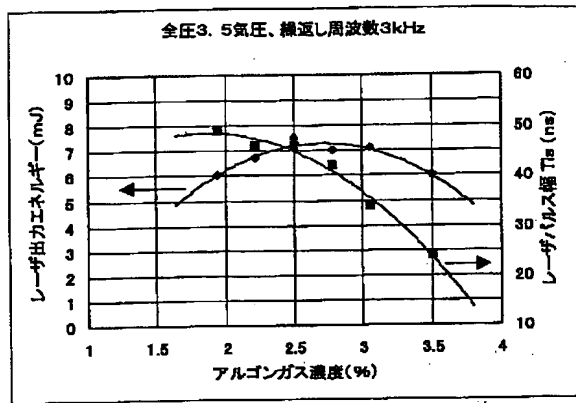




【図2】

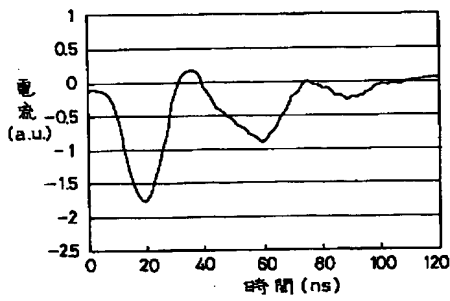


【図3】

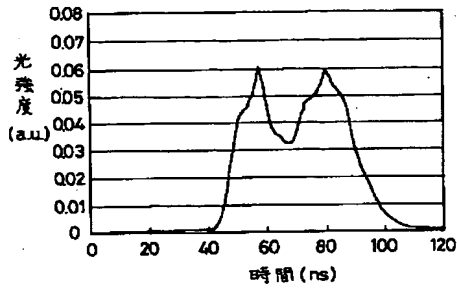


【図4】

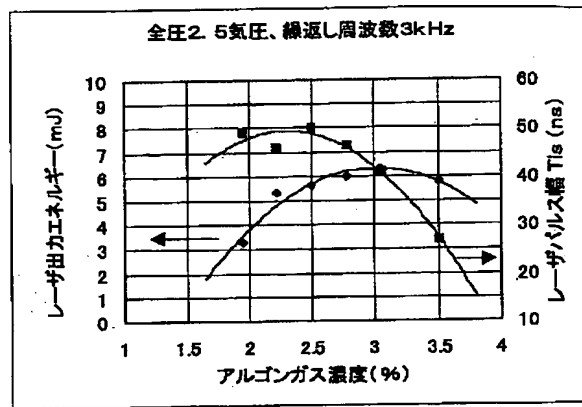
(a)



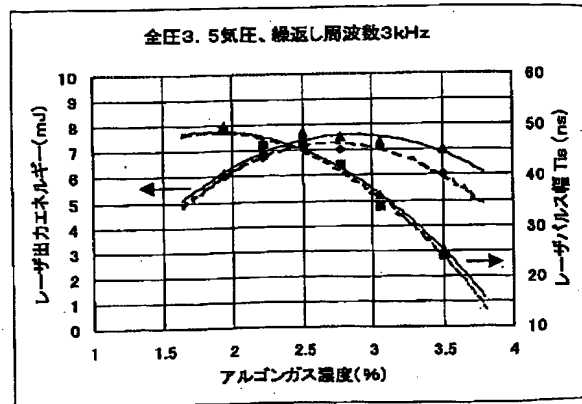
(b)



【図5】



【図6】



## 【手続補正書】

【提出日】平成12年7月13日(2000.7.13)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 フッ素ガス、アルゴンガス及びアルゴンガス以外の少なくとも1種類の希ガスからなるレーザガスが封入されたレーザチェンバと、このレーザチェンバ内で高電圧パルス放電を発生させて前記レーザガスを励起してレーザ光を放出させるための高電圧パルス発生装置とを有し、3kHz以上の高繰返し発振動作を行う露光用ArFエキシマレーザ装置であって、前記高電圧パルス発生装置が発生する極性が反転する1パルスの放電振動電流波形の始めの半周期と、それに続く少なくとも2つの半周期によってレーザ発振動作を行わせるように構成された露光用ArFエキシマレーザ装置において、前記レーザガスのレーザチェンバ内圧力が2.5～3.5気圧、

前記レーザガスのフッ素濃度が0.12%以下、

前記レーザガスのアルゴンガス濃度が2%以上3%以下であることを特徴とする露光用ArFエキシマレーザ装置。

【請求項2】 前記アルゴンガス以外の希ガスがネオンガス並びにキセノンガスの混合ガスであって、前記キセノンガス濃度が5～15ppmであることを特徴とする請求項1記載の露光用ArFエキシマレーザ装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正内容】

【0030】すなわち、上記目的を達成する本発明の露光用ArFエキシマレーザ装置は、フッ素ガス、アルゴンガス及びアルゴンガス以外の少なくとも1種類の希ガスからなるレーザガスが封入されたレーザチェンバと、このレーザチェンバ内で高電圧パルス放電を発生させて前記レーザガスを励起してレーザ光を放出させるための高電圧パルス発生装置とを有し、3kHz以上の高繰返し発振動作を行う露光用ArFエキシマレーザ装置であって、前記高電圧パルス発生装置が発生する極性が反転する1パルスの放電振動電流波形の始めの半周期と、それに続く少なくとも2つの半周期によってレーザ発振動作を行わせるように構成された露光用ArFエキシマレーザ装置において、前記レーザガスのレーザチェンバ内圧力が2.5～3.5気圧、前記レーザガスのフッ素濃度が0.12%以下、前記レーザガスのアルゴンガス濃

度が2%以上3%以下であることを特徴とするものである。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0031

【補正方法】削除

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0032

【補正方法】変更

【補正内容】

【0032】この場合、アルゴンガス以外の希ガスがネオンガス並びにキセノンガスの混合ガスであって、キセノンガス濃度が5～15ppmであることが望ましい。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0033

【補正方法】変更

【補正内容】

【0033】本発明において、高電圧パルス発生装置が発生する極性が反転する1パルスの放電振動電流波形の始めの半周期と、それに続く少なくとも2つの半周期によってレーザ発振動作を行わせるように構成し、レーザガスのレーザチェンバ内圧力を2.5～3.5気圧、レーザガスのフッ素濃度を0.12%以下、レーザガスのアルゴンガス濃度を2%以上3%以下に設定することにより、繰返し周波数3kHz以上であっても、レーザパルス幅 $T_{is}$ が30ns以上の露光用ArFエキシマレーザ装置を実現することができる。ここで、アルゴンガス濃度とは、レーザチェンバ内の圧力に対するアルゴンガスの分圧をいう。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0055

【補正方法】変更

【補正内容】

【0055】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明の露光用ArFエキシマレーザ装置によれば、高電圧パルス発生装置が発生する極性が反転する1パルスの放電振動電流波形の始めの半周期と、それに続く少なくとも2つの半周期によってレーザ発振動作を行わせるように構成し、レーザガスのレーザチェンバ内圧力を2.5～3.5気圧、レーザガスのフッ素濃度を0.12%以下、レーザガスのアルゴンガス濃度を3%以下に設定することにより、繰返し周波数3kHz以上であっても、レーザパルス幅 $T_{is}$ が30ns以上の露光用ArFエキシマレーザ装置を実現することができる。